

汽车底盘平台悬架性能仿真模块的开发与应用 *

邱斌斌, 薛兴雨, 陈旭, 计黄健, 宁晓斌 *
(浙江工业大学 车辆工程研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要:为分析某汽车底盘平台对不同车型操控稳定性以及平顺性的适应性,以 VC++ 和 ADAMS,开发了底盘平台悬架分析专用模块,该模块可以快速建立前后悬架、其它子系统以及整车的参数化模型,并能快速完成操控稳定性和平顺性的分析优化。通过该模块对两款采用该底盘平台车型 A1、A2 的前、后悬架进行了运动学仿真分析并建立了整车仿真模型,同时根据国家标准应用该模块对两款车型进行了操纵稳定性的转向脉冲仿真分析、计分评价、偏频测定仿真,以及随机路面平顺性的分析。研究结果表明该专用模块具有较好的工程应用价值,采用该底盘平台的两款车型具有较好的操控稳定性和平顺性。

关键词:底盘平台;模块;操控稳定性;平顺性

中图分类号:TH122;U463.1

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)12-1444-04

Development and application of simulation module for suspension performance analysis of vehicle chassis platform

QIU Bin-bin, XUE Xing-yu, CHEN Xu, JI Huang-jian, NING Xiao-bin
(Institute of Vehicle Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to analyze the adaptation of an automobile chassis platform in handling stability and ride comfort when assembled in different car models, VC++ and ADAMS were used to develop a specific simulation module for suspension performance analysis of the chassis platform, which could not only create the parametric modeling of the front and rear suspension, the other subsystems and the whole vehicle quickly, but also accomplish the analysis and optimization of handling stability and ride comfort. By adopting this module, kinematic simulation analysis and vehicle simulation model for the front and rear suspension of this chassis platform when assembled in two different cars models named A1, A2 were carried out, then steering pulse simulation analysis which can reflect handling stability, score evaluation and analysis of ride comfort in random road were proceeded according to the national standards. The results show that this simulation module has superior application value in engineering and the two different car models equipped with this chassis platform have better handling stability and ride comfort.

Key words: chassis platforms; module; handling stability; ride comfort

0 引言

汽车底盘平台是一个复杂的系统,分析与研究底盘平台,涉及学科广泛,包括汽车工程、CAE 仿真分析等专业学科。从专业角度来讲,底盘平台是指同一套整车开发技术应用于不同车型,派生或者衍生多款车型。它意味着不同档次的车型在理论上可以在同一条

生产线上生产,从而节省设计成本,提高生产效率^[1],由于像汽车这样的高新技术产品的开发,不仅耗资巨大、周期较长,而且成功率低、开发风险高^[2],通过开发一个多车型底盘平台悬架分析设计平台,先对其进行虚拟仿真,等其各项指标达到要求后,再进行实体设计,这样就为汽车设计节省了很多环节,为企业节约了时间和资金。

收稿日期:2011-05-31

基金项目:浙江省重大科技专项资助项目(2008C01002)

作者简介:邱斌斌(1990-),男,浙江嘉兴人,主要从事汽车底盘方面的研究. E-mail:327078553@qq.com

通信联系人:宁晓斌,男,副教授. E-mail:nxb@zjut.edu.cn

由于悬架在底盘中的重要作用,悬架性能的好坏将直接影响到整车操稳性和平顺性,在底盘平台开发中悬架的设计就显得非常重要。国外在这方面已经比较成熟,而我国汽车工业起步较晚,但是许多高校和研究单位还是做了大量相应的研究^[3-5]。近年来,国内开始研究悬架系统集成开发平台的构建,进行了基于虚拟设计环境的轿车悬架系统设计研究,不仅能够进行悬架结构的参数化设计,而且实现了悬架性能的虚拟样机设计。

本研究以多体动力学软件为基础,开发一套用于底盘平台操控稳定性及平顺性分析的专用模块。该模块以菜单和对话框的模式,通过调用专用模块快速完成其各个子系统以及整车模型的参数化自动建模,并具有对底盘平台操控稳定性、平顺性进行分析优化,以及对仿真数据进行提取、管理显示等后处理功能,从而大大提高对底盘平台性能分析的效率。

1 多车型底盘平台专用模块

该模块是针对悬架和共享底盘分析时需要利用的建模、仿真、数据处理和优化设计等环节,以 VC++ 6.0 和 ADAMS/Car 为平台开发而成,模块构建过程比较复杂,所需篇幅较大,在此不再赘述。

1.1 模块功能

该底盘平台模块是在 Windows 环境下,以专用模块开发而成,具有以下功能:

(1) 前后悬架子系统、转向系子系统、前后横向稳定杆子系统、车身子系统、前后车轮子系统的参数化自动建模。

(2) 自动化装配功能,各子系统和底盘平台仿真分析模型的自动装配。

(3) 结果数据后处理功能,快速完成悬架的运动学仿真分析以及仿真结果后处理和数据提取。

(4) 自动仿真分析功能,根据国家标准对底盘平台进行操作稳定性、平顺性分析,并进行分析评价,快速地判断该底盘是否符合要求。

(5) 优化功能,通过对整车模型中相关参数进行修改,使设计的悬架和底盘最终都能达到良好的性能。

1.2 各子系统参数化建模模块

1.2.1 前后悬架建模模块

为满足底盘平台的通用性要求,悬架模型应为参数化模型,以便修改其硬点坐标、弹簧刚度、减振器阻尼以及车轮定位参数,从而衍生出多款车型。采用底盘平台的车型一般都有相同结构形式的悬架系统,只要通过调整悬架的刚度和阻尼、轮距、轴距、轮胎和车身等就可以衍生出不同用途的车型。本研究以两款采

用底盘平台的车型 A1、A2 为例,运用开发的模块建立这两款车型的参数化建模。

在相应的建模对话框中输入参数后,模块自动调用多体动力学软件完成对前后悬架的参数化建模,并将建好的模型自动保存在个人数据库中以便随时调用。前悬架为麦弗逊悬架,后悬架为双天梯连杆悬架,前悬架模型如图 1 所示,后悬架建模方式和前悬架类似。

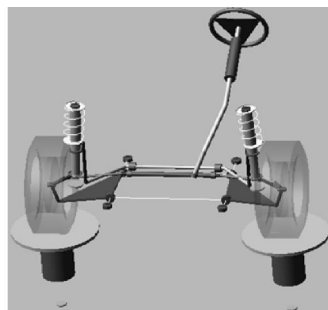


图1 前悬架仿真模型

1.2.2 其他子系统参数化建模功能

车身系统、转向系系统、前后横向稳定杆系统、前后车轮系统等建模方法和前后悬架的建模方法类似,分别通过专用模块建模菜单调用相关建模模块,输入参数,就可完成该系统的建模。

1.3 整车参数化建模功能模块

整车模型是由前麦弗逊悬架、后双天梯连杆悬架、轮胎、车身、制动系统、转向系统和发动机等 7 个子系统装配而成。建模对话框读取各子系统的信息后,打开 ADAMS/Car,并选取 MDI_SDI_TESTRIG 试验台与各个子系统组装成整车仿真模型,然后自动保存到数据库中,以便进行操作稳定性、平顺性仿真时调用。

为了验证建立的底盘平台能否适用于不同的车型,本研究以采用底盘平台的两款车型 A1、A2 为例,通过修改底盘平台的悬架刚度、轴距、轮距、整车满载质量、质心高度以及轮胎等参数,分别建立参数化模型,如图 2 所示。

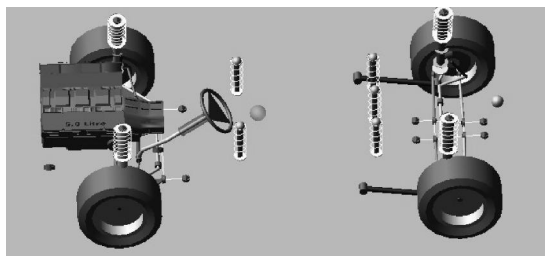


图2 整车仿真模型

2 操作稳定性仿真及分析

整车仿真模型装配好以后,可以进行操作稳定性分析,根据国家标准提供 6 种操作稳定性分析方式,

其仿真对话框类似,这里不再给出。下面笔者针对国内某企业的一款底盘平台,进行不同车型的仿真研究。

2.1 操作稳定性转向脉冲仿真

汽车的转向脉冲仿真分析是汽车操作稳定性最重要的评价指标之一,本研究中进行的转向脉冲仿真分析的步骤参照国标 GB/T 6323.3-94^[6]中规定的试验方法:

- (1) 先让汽车以车速 110 km/h (最高车速的 70% 并四舍五入为 10 的整数倍)直线行驶;
- (2) 在汽车稳定行驶 0.5 s 后,给转向盘一个三角脉冲转向输入,使汽车最大侧向加速度为 4 m/s²,脉冲宽度为 0.5 s,然后保持转向盘在原处不动;
- (3) 待汽车恢复到直线行驶稳定后停止仿真;
- (4) 仿真按左转方向进行。

本研究用整车转向脉冲仿真对话框对 A1 车型和 A2 车型进行转向脉冲仿真分析,得到两款车型的仿真结果对比曲线如图 3、图 4 所示。

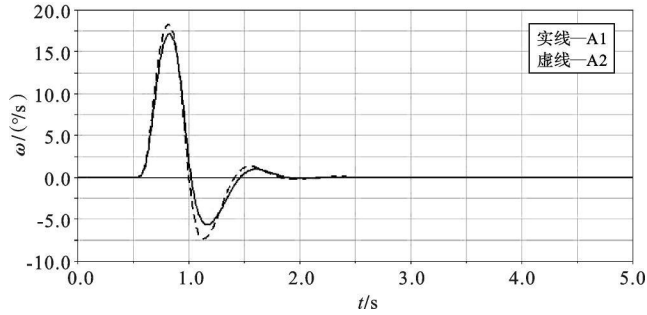


图 3 A1、A2 横摆角速度随时间变化曲线

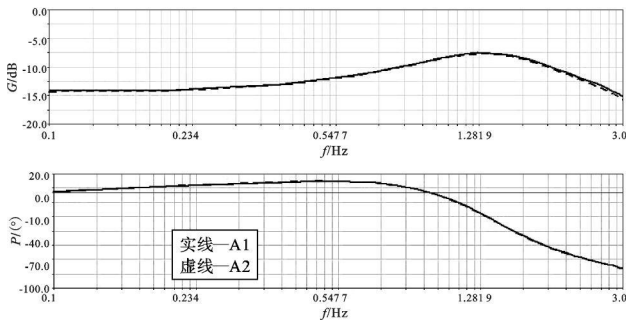


图 4 A1、A2 横摆角速度频率响应特性曲线

2.2 操作稳定性转向脉冲仿真分析

本研究按照国标 QC/T 480—1999^[7]中转向脉冲试验评价标准,转向脉冲试验按 3 项指标(谐振频率 f 、谐振峰水平 D 和相位滞后角 α)进行评价计分。从上面的仿真结果可得到 A1、A2 车型的谐振频率 f 、谐振峰水平 D 和相位滞后角 α 的仿真值如表 1 所示。

表 1 A1、A2 车型转向脉冲评价指标仿真值

评价指标	A1	A2
谐振频率 f_r/Hz	1.269	1.267
谐振峰水平 D/dB	2.78	2.67
相位滞后角 $\alpha/(\circ)$	10.25	11.32

谐振频率 f 的评价计分公式为:

$$N_f = 60 + \frac{40}{f_{100} - f_{60}} \cdot (f_p - f_{60}) \quad (1)$$

式中: N_f —谐振频率的评价计分值; f_{100} —谐振频率的上限值, $f_{100}=1.3 \text{ Hz}$; f_{60} —谐振频率的下限值, $f_{60}=0.7 \text{ Hz}$; f_p —幅频特性谐振峰所对应的频率,Hz。

计算可得: $N_f(\text{W1})=97.93(\text{分})$; $N_f(\text{W2})=97.8(\text{分})$ 。

谐振峰水平 D 的评价计分公式为:

$$N_D = 60 + \frac{40}{D_{60} - D_{100}} \cdot (D_{60} - D) \quad (2)$$

式中: N_D —谐振峰水平的评价计分值; D_{60} —谐振峰水平的下限值, $D_{60}=5 \text{ dB}$; D_{100} —谐振峰水平的上限值, $D_{100}=2 \text{ dB}$ 。

计算可得: $N_D(\text{W1})=89.6(\text{分})$; $N_D(\text{W2})=91.07(\text{分})$ 。

相位滞后角的评价计分公式为:

$$N_\alpha = 60 + \frac{40}{\alpha_{60} - \alpha_{100}} \cdot (\alpha_{60} - \alpha) \quad (3)$$

式中: N_α —相位滞后角的评价计分值; α_{60} —相位滞后角的下限值, $\alpha_{60}=60^\circ$; α_{100} —相位滞后角的上限值, $\alpha_{100}=20^\circ$ 。

计算可得: $N_\alpha(\text{W1})=100(\text{分})$; $N_\alpha(\text{W2})=100(\text{分})$ 。

转向脉冲仿真试验的综合评价计分为:

$N_M(\text{W1})=(97.93+89.6+100)/3=95.84(\text{分})$;

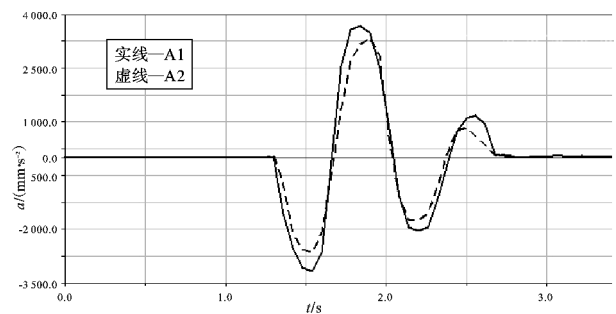
$N_M(\text{W2})=(97.8+91.07+100)/3=96.29(\text{分})$ 。

从评分的结果可以看出,两款车型的转向脉冲计分值都比较高,都具有良好的转向脉冲,且 A2 车型的计分值稍高于 A1 车型的计分值,因此其转向脉冲性能相对稍好一些。

3 平顺性仿真及分析

3.1 偏频的测定

前后悬架及其簧载质量组成的振动系统的固有频率是影响汽车平顺性的主要原因之一。根据文献[8]中关于汽车悬挂系统的固有频率和阻尼比测定方法,通过 ADAMS/Car 中进行的二次开发,本研究建立了四柱试验台测试前后偏频的试验系统。本研究使用



A1、A2 型车前偏频曲线

图 5 四柱试验台平顺性仿真分析模块测量偏频

四柱试验台平顺性仿真分析功能模块对 A1、A2 两款车的前后偏频进行了测量,测出 A1 型车前后偏频分别为 1.40 Hz、1.21 Hz, A2 型车前后偏频分别为 1.44 Hz、1.12 Hz,根据文献[9]中对前后偏频取值范围要求可知,采用底盘平台的 A1、A2 两款车型的前后偏频均满足平顺性要求,两款车型的前偏频曲线如图 5 所示。

3.2 随机路面平顺性仿真对比分析

根据文献[10]中汽车平顺性的测试方法,该平顺性仿真分析系统提供随机路面虚拟和四柱试验台随机激励两种仿真平顺性分析系统。利用随机路面虚拟仿真平顺性分析系统对 A1、A2 分别进行了平顺性分析。根据文献[11]可知,驾驶员座椅垂直轴向的频率加权函数最敏感的频率范围为 4 Hz ~12.5 Hz, 驾驶员座椅水平轴向的频率加权函数最敏感的频率范围为 0.5 Hz ~2 Hz,因此各个方向的加速度功率谱的峰值应避开各自的敏感范围。通过仿真分析可知,A1、A2 型车驾驶员座椅处 3 个轴向的加速度功率的峰值均避开了各自的敏感范围。其中,驾驶员座椅处垂直方向的加速度功率谱如图 6 所示,其余两项省略。

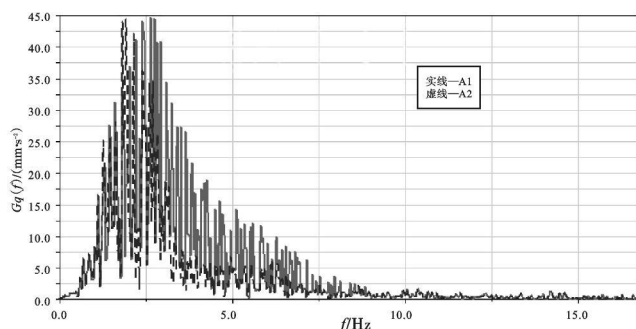


图6 驾驶员座椅处垂向加速度功率谱曲线

计算加权加速度均方根值 a_w :

$$a_w = \left[\int_{0.5}^{80} W^2(f) G_a(f) df \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中: $W(f)$ —频率加权函数。

$W(f)$ 的取值范围如下:

水平方向的振动频率加权函数:

$$W(f) = \begin{cases} 1.0 & 0.5 \leq f \leq 2 \\ 2/f & 2 < f \leq 80 \end{cases} \quad (5)$$

垂直方向的振动频率加权函数:

$$W(f) = \begin{cases} 0.5 & 0.5 \leq f \leq 2 \\ f/4 & 2 < f \leq 4 \\ 1 & 4 < f \leq 12.5 \\ 12.5/f & 12.5 < f \leq 80 \end{cases} \quad (6)$$

计算总加权加速度均方根值:

$$a_w = \left[(1.4a_{xw})^2 + (1.4a_{yw})^2 + a_{zw}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

本研究将所得的驾驶员座椅处 3 个轴向加速度功率谱数据分别导出,利用 Matlab 运算求解,得出总加权加速度均方根值为:

$$a_{A1_w} = 0.297 \quad a_{A2_w} = 0.303$$

根据文献[12-14]中的评价标准可知,A1 和 A2 型车均满足平顺性要求。

4 结束语

本研究通过对 ADAMS/Car 的二次开发,完成了对前后悬架、前后车轮等子系统以及整车的自动参数化建模及分析处理功能模块的设计,能在较大程度上提升分析的效率,然后运用该模块的仿真分析功能,以采用该底盘平台的两款车型为例,对两款车型进行转向脉冲仿真分析和评价,并且进行偏频测定和随机路面平顺性分析。研究结果表明,采用该底盘平台的两款车型均有较好的操控稳定性和平顺性,同时也验证了该模块具有的工程应用价值。

参考文献(References):

- [1] MUFFATTO M. Introducing a platform strategy in product development [J]. *International Journal of Production Economics*, 1999(60): 145-153.
- [2] 张红斌. 三维数字化技术在汽车分析中的应用[J]. *机电工程技术*, 2008, 37(8): 60, 124.
- [3] 赵立微. 基于 K&C 试验的悬架特性分析与试验优化[D]. 长春: 吉林大学汽车工程学院, 2008.
- [4] 廖力成, 熊禾根. 基于 ADAMS 的麦弗逊悬架的运动学仿真与结构优化[J]. *机电工程技术*, 2009, 38(9): 33-35.
- [5] 杜 兢, 王小芳. 刚柔耦合非独立悬架系统的建模与仿真[J]. *机电工程技术*, 2009, 38(3): 72-75.
- [6] 国家标准化工作委员会. GB/T 6323.6-1994. 汽车操纵稳定性试验方法: 稳态回转试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [7] 国家标准化工作委员会. QC/T 480-1999. 汽车操纵稳定性指标限值与评价方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [8] SLATENGREN J. Utilization of ADAMS to Predict Tracked Vehicle Performance[N]. SAE- Paper, 2000-01-03.
- [9] 刘 涛. 汽车设计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2008.
- [10] Mechanical Dynamic Inc.. ADAMS/Tire Option [M]. Mechanical Dynamic Inc., 1999.
- [11] 余志生. 汽车理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [12] 国家标准化工作委员会. GB5902-86 汽车平顺性脉冲输入行驶试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1983.
- [13] 董希状, 宁晓斌, 张 杰. 汽车共享底盘悬架仿真模块的开发与应用[J]. *机电工程*, 2010, 27(10): 34-37.
- [14] 姜军平, 宁晓斌, 张 杰, 等. 轿车共享底盘悬架平顺性分析模块的开发与应用[J]. *机电工程*, 2010, 27(6): 22-27.

[编辑: 张 翔]